

Uma Abordagem Multicritério Para Seleção de Portfólios de Projetos

Utilizando Otimização Multiobjetivo e Analytic Hierarchy Process

A Multicriteria Approach to Project Portfolio Selection

Using Multiobjective Optimization and Analytic Hierarchy Process

Everton Gomede e Rodolfo M. Barros

Departamento de Computação
Universidade Estadual de Londrina
Londrina, Brasil

evertongomede@gmail.com, rodolfo@uel.br

Resumo — Este trabalho apresenta uma abordagem para tratar o problema de seleção de portfólio de projetos (PSPP) na presença de recursos limitados, múltiplos critérios, diferentes tipos de projetos, restrições, funções a serem otimizadas, interdependência entre projetos e cenários com um grande número de projetos candidatos. Para isso, ela é dividida em duas fases, sendo uma para (i) otimização utilizando o algoritmo multiobjetivo NSGA-II e outra de (ii) pós-otimização utilizando o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Dentre suas contribuições podem-se citar (i) uma solução para a análise combinatória 2^n e (ii) a estruturação de uma hierarquia de critérios originados de aspectos subjetivos.

Palavras Chave - seleção de portfólio de projetos; project management; NSGA-II; analytic hierarchy process.

Abstract — This paper presents an approach to solve the problem of project portfolio selection (PSPP) in the presence of limited resources, multiple criteria, different types of projects, constraints, functions to be optimized, interdependent projects, and scenarios with a large number of projects available. For this purpose, it is divided into two stages, one for (i) optimization using the multiobjective algorithm NSGA-II and another (ii) post-optimization using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Among their contributions, we can name (i) a solution to the combinatorial analysis 2^n and (ii) the structure of a hierarchy of criteria derived from subjective aspects.

Keywords – project portfolio selection; project management; NSGA-II; analytic hierarchy process.

I. INTRODUÇÃO

*Gerenciamento de Portfólio de Projetos*¹ (GPP) é um tema relevante para as organizações que pretendem estabelecer um processo de *seleção* e *priorização* de projetos focados no alinhamento às estratégias corporativas. Isto significa gerir o conjunto de programas e/ou projetos como um todo *sistêmico*, permitindo a *alocação* adequada de recursos sejam financeiros,

humanos ou tecnológicos, possibilitando uma gestão integrada dos investimentos [1].

O GPP inclui atividades como identificação, avaliação, seleção, priorização, balanceamento, dentre outras. Todas estas atividades devem suportar a consistência da estratégia organizacional alinhadas à visão, missão e valores [1]. Esta relação pode ser vista na Fig. 1.



Figure 1. O contexto organizacional do gerenciamento de portfólio de projetos [1].

A *seleção de portfólios* visa escolher um conjunto de programas e/ou projetos, levando em consideração não somente as restrições e características individuais de cada um, mas também as relações existentes entre estes, otimizando um ou mais objetivos [21]. Considerando-se o processo representado pela Fig. 2, a atividade de seleção está contida na etapa *Selecionar* do grupo de processo *Gerenciamento do Portfólio*, onde as alternativas disponíveis são avaliadas e escolhidas [1].

¹ Um Portfólio de Projetos (PP) é uma coleção de programas e/ou projetos gerenciados em grupo com a intenção de alcançar um ou mais objetivos estratégicos [1].

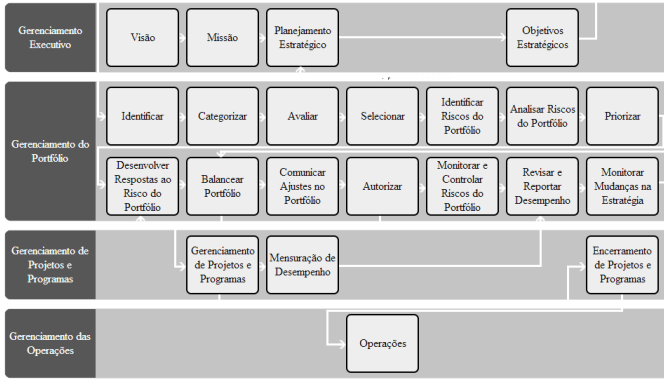


Figure 2. Um processo que compreende o gerenciamento sistemático de um portfólio de projetos [1].

Selecionar os projetos que deverão ser executados por uma organização é o maior componente de um GPP [2]. Levine [3] afirma que muitas empresas se esforçam para fazer com que seus projetos tenham sucesso, sem saber se estes *são os projetos certos* a serem realizados. Outro aspecto abordado pelo autor é o fato de que empresas assumem projetos com riscos excessivos ou continuam executando projetos que, provavelmente, não alcançarão seus objetivos. Assim, recursos valiosos são despendidos desnecessariamente sendo que poderiam estar direcionados para projetos mais interessantes para as organizações.

Neste contexto, este artigo apresenta uma abordagem composta por duas fases que (i) otimiza duas funções objetivo (risco e retorno) sujeitas a um conjunto de restrições gerando um conjunto de portfólios e, (ii) constrói uma hierarquia de critérios qualitativos que capturam informações de difícil mapeamento matemático [11, 12] permitindo que um único portfólio de projetos seja selecionado.

II. PROBLEMA DE PESQUISA & CONTRIBUIÇÕES

A pergunta de pesquisa que guiou este trabalho pode ser descrita da seguinte forma: “*Como selecionar um portfólio ótimo de projetos levando em consideração critérios quantitativos e qualitativos em um cenário com múltiplos objetivos, várias restrições e um número elevado de combinações possíveis?*”. Essa questão gerou algumas contribuições que podem ser classificadas como:

- *Formulação matemática do problema:* codificar o problema em termos de suas funções objetivo e restrições para solucionar a análise combinatória 2^n
- *Hierarquia de critérios para seleção de portfólio:* uma estrutura com os critérios comumente presentes no contexto de seleção de portfólios de projeto

III. FUNDAMENTAÇÃO & TRABALHOS RELACIONADOS

A. Otimização Multiobjetivo (OMO)

Problemas com *múltiplos objetivos* surgem de uma forma natural na maioria das disciplinas e suas soluções tem sido um desafio para pesquisadores há muito tempo [4]. Apesar da variedade considerável de técnicas desenvolvidas em *Pesquisa Operacional* (PO) e outras disciplinas para resolver estes

problemas, as complexidades da sua solução exige abordagens alternativas.

O uso de *algoritmos evolucionários* (AE) para resolver problemas desta natureza tem sido motivado principalmente por causa da natureza de base populacional do AE que permite a geração de vários elementos do conjunto ótimo de Pareto. Adicionalmente, a *complexidade* de algumas otimização multiobjetivo (por exemplo, grandes espaços de busca, incerteza, ruído, critérios conflitantes, etc.) podem impedir o uso (ou aplicação) das tradicionais técnicas de PO [4].

B. O Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)

O NSGA-II é um *algoritmo evolucionário multiobjetivo* fundamentado em uma classificação de fronteiras hierárquicas de dominância. Neste método é empregada uma estratégia elitista de reinserção da população, para garantir que se alguma solução do conjunto *ótimo de Pareto* for encontrada em qualquer geração, ela será conservada até a população final [5]. O NSGA-II trabalha com uma população pai P para gerar uma população descendente Q similar aos AEs convencionais. Na primeira iteração, gera-se uma população P_0 que é submetida à classificação de dominância. Cada solução tem um valor de aptidão igual ao nível de sua fronteira. Utilizando-se os operadores de seleção por torneio, cruzamento e mutação obtém-se a população descendente Q_0 . Tanto P_0 quanto Q_0 são de tamanho N . Ambas as populações, P_0 e Q_0 , são unidas em uma população total $R_0 = 2N$.

Para as gerações seguintes ($t = 1, 2, \dots$), o algoritmo trabalha com a *população total* R_t . A cada geração é realizada a classificação em fronteiras hierárquicas de dominância e são obtidas as fronteiras F_1, F_2, \dots , sendo F_1 a primeira fronteira, com todas as soluções não dominadas da R_t corrente. A reinserção da população total R_t , em uma nova população de pais P_{t+1} , é feita de forma a selecionar as N soluções de R_t que estejam em um nível mais elevado de dominância. Assim, a formação de P_{t+1} começa pelas soluções em F_1 , seguido pelas soluções F_2 e assim por diante.

Cada conjunto F_i deve ser inserido na sua totalidade em P_{t+1} enquanto o $P_{t+1} + |F_i| \leq N$. Ao inserir as soluções de uma fronteira F_j tal que $|F_j| > N - P_{t+1}$, o algoritmo escolhe as soluções de F_j que estejam melhor espalhadas, ou seja, a reinserção da população de uma geração para outra é feita considerando-se os *melhores indivíduos* dentre os pais e os descendentes. Esses indivíduos são classificados em fronteiras de dominância e a nova população é formada selecionando-se os indivíduos das primeiras fronteiras até se atingir o tamanho da população. Essa quantificação é dada pela distância da multidão [5]. A Fig. 3 ilustra o esquema de populações do NSGA-II.

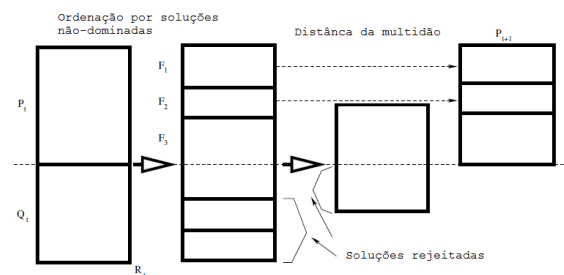


Figure 3. O esquema de populações do algoritmo NSGA-II [5].

O NSGA-II apresentou um método de diversidade de fronteiras chamado de distância de multidão (*crowding distance*) [5]. A distância de multidão de uma solução i (d_i), representa a estimativa do perímetro formado pelo cubóide cujos vértices são os seus vizinhos mais próximos. Quanto maior o cubo em i , mais afastada se encontra a solução i dos seus vizinhos. As soluções extremas em cada objetivo terão um cubóide de tamanho infinito. A Fig. 4 mostra a distância de multidão para a solução i .

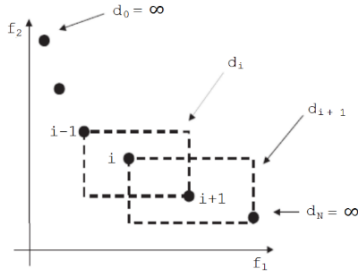


Figure 4. Distância de multidão utilizada no NSGA-II [5].

Uma vez obtida as distâncias de multidão, os conjuntos F_j são ordenados decrescentemente em relação as suas distâncias. Por fim, gera-se $|Q_{n+1}|$ a partir de $|P_{n+1}|$ usando os operadores de seleção de torneio por multidão, cruzamento e mutação [5].

A seleção multiobjetivo no NSGA-II é realizada pelo torneio de multidão. O NSGA-II incorpora uma pequena modificação no método de seleção por torneio (*crowding tournament*) [5]. Uma solução i é considerada vencedora de um torneio contra uma solução j , se:

- A solução i possui um maior nível de não-dominância: fronteira de $i <$ fronteira de j
- Se ambas as soluções estiverem na mesma fronteira, mas i tem uma distância de multidão maior que j , ou seja, $d_i > d_j$

Posteriormente, são aplicados os operadores de cruzamento e mutação, como os empregados nos AEs. Ao final de cada geração as populações P_t e Q_t são inseridas, conforme explicado anteriormente (Fig. 3), com uma estratégia elitista para obter a nova população de pais P_{t+1} . Após atingir um numero pré-especificado de gerações, o algoritmo é interrompido e a fronteira de soluções não-dominadas da população corrente é retornada como solução final do AE.

C. O Analytic Hierarchy Process (AHP)

O AHP foi inicialmente proposto por Thomas L. Saaty [6] e sua principal característica é a *comparação pareada* de uma hierarquia de critérios e alternativas. Ele é frequentemente usado para analisar problemas de tomada de decisão multicritério [11, 12]. O AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo, a participação desses problemas menores na decisão global fazendo com que a estrutura do problema seja *decomposta* em uma hierarquia.

Saaty [7] afirma que hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total [6]. A parte mais criativa de tomadas de decisão que tem *efeito significativo* no

resultado é a *modelagem do problema*. No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia que é utilizada, posteriormente, um processo de comparação.

A *comparação pareada* (*pairwise comparison*) é um componente importante do AHP. Dois critérios (ou alternativas) são comparados usando uma escala de nove pontos, em que um (1) significa importância “igual”, três (3) a importância é “baixa”, cinco (5) indica claramente “superior”, sete (7) é “muito” importante e nove (9) denota “extremamente” importante. Os números pares (2,4,6,8) podem ser utilizados para indicar valores intermediários, se necessário. Se existem n critérios a considerar, então $n(n-1)/2$ comparações de pares devem ser feitas. Depois disso, uma matriz $n \times n$ é construída e os pesos de cada entidade (local e global) são obtidos [11, 12].

A *consistência* da matriz resultante pode ser verificada por meio dos índices: *índice de consistência* (CI) e *taxa de consistência* (CR). Eles são definidos nas equações (1) e (2) com λ_{max} sendo o valor principal (*Eigen*) e RI o *índice de consistência aleatória*, como mostrado na Tab. 1. Os índices CI e CR devem ser inferiores a 0,1 para a análise AHP ser considerada *consistente* [11, 12].

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

Segundo Saaty [7], o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações pareadas são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos *qualitativos* e *quantitativos* de um problema de decisão.

TABLE I. ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA ALEATÓRIA (RI)

n^a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI ^b	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

a. Dimensão da matriz (n) b. Índice de consistência aleatória (RI)

Uma *hierarquia bem construída* será um bom modelo da realidade, podendo trazer algumas vantagens. Primeiramente, a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos. A hierarquia também permite a obtenção de uma visão geral de um sistema, desde critérios de níveis mais baixos até seus propósitos nos níveis mais altos. Finalmente, os modelos hierárquicos são *estáveis* e *flexíveis*: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; já flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho [6, 7, 11, 12].

D. Trabalhos Relacionados

Existem trabalhos *clássicos* na literatura que tratam sobre o tema de seleção de portfólio de projetos. De acordo com Wang [10] estes trabalhos podem ser classificados em:

- *Modelos de Pontuação*
- *Modelos Matemáticos*
- *Modelos de Índices Financeiros*

- *Modelos Probabilísticos*
- *Teoria de Precificação de Opções*
- *Abordagens Estratégicas*
- *Abordagens Hierárquicas*
- *Abordagens Comportamentais*

Nos últimos anos, os *métodos heurísticos* vem sendo utilizados para a solução do problema. Iamratanakul [8] publicou uma revisão bibliográfica relacionada ao tema, classificando os modelos de seleção de portfólio em uma taxonomia que compreende diferentes tipos de abordagens, sendo uma delas a *abordagem heurística*. A evolução de trabalhos publicados que resolvem o problema de seleção de portfólio pode ser visto em [9] (Fig. 5).

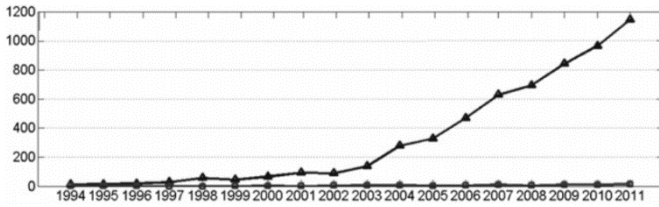


Figure 5. Evolução de publicações relacionadas a métodos heurísticos [9].

A linha com *círculos* representa a evolução de publicações relacionadas a métodos *heurísticos* para seleção de portfólio. A linha com *triângulos* representa a evolução das publicações de métodos heurísticos nos mais diversos contextos.

Dos trabalhos recentes (2010-2014) podem-se citar: em [13] os autores propõem uma abordagem de busca *heurística multiobjetivo* para apoiar uma técnica de seleção de portfólio de projetos em cenários com um grande número de projetos candidatos. Em [14] os autores propõem uma alternativa que usa lógica *fuzzy* com uma heurística para escolher um portfólio ótimo. Os mesmos autores apresentam uma variação desta alternativa em [15] adicionando um subsistema de *data minig*. O trabalho apresentado em [16] utiliza um *algoritmo evolucionário* para seleção de um portfólio ótimo baseado em uma única função objetivo. Em [17] os autores propõem uma ferramenta que identifica um conjunto de portfólios (*Pareto Front*) dentro de um intervalo de custo permitindo a realização de análises interativa. [18, 19] apresenta uma ferramenta que implementa um algoritmo heurístico. A Tab. 2 mostra a comparação dos trabalhos relacionados com esta abordagem.

TABLE II. TRABALHOS RELACIONADOS

Critério	Trabalhos Relacionados						
	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18,19]	<i>Este</i>
<i>Funções Objetivo</i>	●	○		○	●	●	●
<i>Conjunto de Restrições</i>	●			●	●	●	●
<i>Busca Heurística</i>	●	●		●	●	●	●
<i>Conjunto Ótimo</i>	●	○		○		●	●
<i>Decisão Estruturada</i>							●

Critério	Trabalhos Relacionados						
	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18,19]	<i>Este</i>
<i>Seleção Pós-Otimização</i>	●						●
<i>Seleção de Portfólio</i>	●	●		●	●	●	●
<i>Conjunto de Critérios</i>							●
<i>Processo em Fases</i>							●
<i>NP-hard</i>	●			●	●	●	●

● Atende fortemente ○ atende parcialmente e sem símbolo, não atende. Critérios desenvolvidos de acordo com elementos frequentemente presentes em publicações [8,9,13,14,15,16,17,18,19].

O trabalho apresentado neste artigo visa cobrir as lacunas existentes entre os modelos atuais.

IV. ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DE DUAS FASES

A. O Problema de Seleção de Portfólio de Projetos (PSPP)

O PSPP consiste em determinar de que maneiras os projetos disponíveis podem ser *combinados* para maximizar o retorno, levando em consideração um conjunto de restrições, ao mesmo tempo em que minimiza os riscos envolvidos [21].

Harry Markowitz² [20] determina as *duas características* fundamentais de um portfólio: o seu *retorno* esperado e a sua *variância*, esta última representando o *risco* da portfólio. Formalmente o PSPP pode ser definido como:

$$\text{Maximize } \bar{R}_p = \sum_{i=0}^n X_i \cdot E(R)_i \quad (3)$$

$$\text{Minimize } \sigma_p = \left[(W_x^2 \cdot \sigma_x^2) + (W_y^2 \cdot \sigma_y^2) + 2 \cdot W_x \cdot W_y \cdot COV_{x,y} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i=0}^n CI_i \leq \text{orçamento} \quad (5)$$

$$\max(\text{payback}) \leq \text{payback} \quad (6)$$

$$P_i \text{ depende de } P[1..n] \quad (7)$$

$$P_i \text{ exclui de } P[1..n] \quad (8)$$

$$P_i \exists! E(R) \quad (9)$$

$$E(R) > 0 \quad (10)$$

B. Função de Retorno

A Equação (3) representa a função objetivo que deve ser *maximizada* [20, 21]. A primeira característica do portfólio, seu retorno esperado \bar{R}_p , é simplesmente a média ponderada dos retornos dos projetos individuais que o compõe, onde:

- X_i é o percentual investido no projeto i
- $E(R)_i$ é o retorno esperado do projeto i

C. Função de Risco

A Equação (4) representa a função que deve ser *minimizada* [20, 21]. A característica fundamental desta equação é o risco, medido pela sua variância, onde:

- $W_x W_y$ representam, respectivamente, a participação do projeto x e y no portfólio

² Foi laureado com o Prêmio de Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel de 1990.

- $\sigma_x^2 \sigma_y^2$ representam a variância dos projetos x e y , respectivamente, com relação aos riscos identificados
- $COV_{x,y}$ covariância entre os projetos x e y

A covariância $\rho_{x,y}$ é dada pela Covariância de Person [15], conforme mostrado na Equação (11).

$$\rho_{x,y} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] * [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (11)$$

D. Restrições

As Equações (5) e (6) garantem que o investimento total do portfólio e o período de retorno (payback), não sejam maiores do que o esperado [21]. As Equações (7) e (8) exibem as dependências e excludências entre projetos. Isto significa que ao selecionar um projeto, deve-se selecionar também seus dependentes e/ou eliminar os mutuamente excludentes [21]. Em (9), garante-se que um projeto deve existir somente uma vez dentro do portfólio. Por fim, a Equação (10) garante que o retorno final seja maior que zero [21]. O espaço de busca é dado por 2^n , onde n é a quantidade de projetos disponíveis para seleção³.

E. Estrutura da Abordagem de Duas Fases

Considerando as diferentes etapas do processo de seleção de portfólio de projetos [21], tem-se uma estrutura de decisão de duas fases (Fig. 6), que tem como objetivo gerar um conjunto de soluções ótimas e permitir com que uma das soluções seja selecionada por meio de um método estruturado.



Figure 6. Estrutura da abordagem de duas fases.

A primeira fase (OMO) utiliza o algoritmo NSGA-II com as funções objetivo e restrições explicadas anteriormente para gerar um conjunto de soluções ótimas (Pareto Front). Após isso, uma estrutura hierárquica é utilizada para selecionar uma única solução (AHP) considerando-se um conjunto de critérios.

F. Hierarquia de Critérios

Foram pesquisados 33 critérios para avaliar os valores dos portfólios de projetos na literatura relevante. Estes critérios foram organizados em dois grupos: (i) critérios *endógenos* com foco na criação de valor interno para a organização (esses critérios devem expressar fatores que estão dentro do controle da organização); (ii) critérios *exógenos* intrinsecamente relacionados com ambiente estando além do controle da organização [21]. Esta classificação pode ser vista na Tab. 3.

TABLE III. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIOS DE PROJETOS

<i>Endógenos</i>	<i>Exógenos</i>
Alinhamento com os objetivos	Posição da tecnologia
Rentabilidade	Consideração ambiental e segurança
Capacidade de equipe	Lidar com sanções internacionais
Capacidade de financiamento	Apoio público
Melhoria & Inovação	Barreiras para copiar ou imitar
Conteúdo do plano técnico	Volume de mercado aberto
Servindo como infraestrutura	Intensidade da concorrência
Conexões tecnológicas	Benefícios para a vida humana
Extensibilidade dos resultados	Impacto no prestígio empresa
Adequação para o custo	Potencial para o progresso
Equipamentos de apoio	Dinâmica do mercado
Adequação de tempo	Potencial de crescimento do produto
Impacto na produtividade	Impacto sobre participações sociais
Impacto na produtividade	Número de partes interessadas
Avanço da tecnologia relacionada	
Melhoria da qualidade	
Impacto no aprendizado e crescimento	
A experiência acumulada em campo	
Sinergia entre projetos	

Os critérios em **negrito** tem uma representatividade maior [21].

Estes critérios da Tab. 3 são os utilizados *frequentemente* na literatura especializada [21], fornecendo uma estrutura que permitir uma análise fundamentada. Um exemplo do resultado de uma hierarquia pode ser visto na Fig. 7.

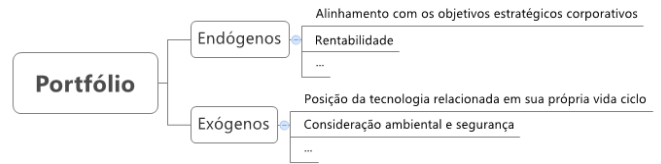


Figure 7. Exemplo de critérios hierarquizados.

V. EXPERIMENTOS & RESULTADOS

A. Considerações e Parâmetros Iniciais

No problema de seleção abordado, cada indivíduo é representado por uma *sequência binária*, em que cada posição da sequência representa se o projeto está presente ou não. Um possível indivíduo pode ser dado por $S = [0, 1, 1, 0, 1]$. Para garantir a diversidade e uma boa qualidade do conjunto de soluções iniciais, a população inicial do NSGA-II foi gerada de *forma aleatória* [5].

O tamanho inicial da população foi estimado de maneira *empírica*, iniciando com 10 indivíduos, aumentando em 10 até que o resultado do algoritmo não fosse mais alterado, chegando

³ Este espaço de busca desconsidera as restrições impostas ao problema. Este é um dos tipos de problema que podem ser classificados como *NP-hard* [21], onde métodos polinomiais levariam muito tempo para testar todas as soluções.

ao número (arredondado) de 100 indivíduos. Este tamanho foi mantido para a população durante as iterações.

O critério de parada do algoritmo genético pode variar de acordo com a opção do usuário. Uma das formas é (i) definir uma quantidade de gerações que devem ser criadas. Outra forma é (ii) executa-lo até que se encontre uma população onde os indivíduos tenham a função de avaliação que se deseja alcançar [5]. O critério utilizado foi o de (iii) *convergência*, ou seja, não ocorre melhora significativa na solução durante um dado número de gerações. A Tab. 4 resume esses parâmetros.

TABLE IV. PARÂMETROS UTILIZADOS NO ALGORITMO NSGA-II

Parâmetro	Valor
Quantidade de Projetos	42 projetos
População Inicial	100 indivíduos
Tamanho da População	100
Função a ser Maximizada	Equação (3)
Função a ser Minimizada	Equação (4)
Restrições	Equações (5), (6), (7), (8), (9) e (10)
Esquema de Representação	Codificação Binária
Operador de Seleção	Crowding Tournament
Operador de Cruzamento	Partially Mapped Crossover (PMX)
Taxa de Mutação	Substituição de gene aleatória
Critério de Parada	100 gerações sem melhora de soluções

B. Resultados e Análises dos Experimentos

Os dados empregados nos experimentos foram extraídos de um conjunto de 42 projetos originados do planejamento estratégico de uma empresa de médio porte. Estes experimentos foram realizados considerando-se o cenário *real* e *simulações* de cenários, onde testaram-se variações nos valores das restrições.

O conjunto ótimo de Pareto é exibido na Fig. 8. Este conjunto contém portfólios que foram construídos pela combinação dos projetos disponíveis, otimizando as funções representadas pelas Equações (3) e (4) e atendendo as restrições expressadas pelas Equações (5), (6), (7), (8), (9) e (10). As soluções contidas no conjunto podem ser consideradas ótimas (do ponto de vista de cada função objetivo). Variações nas restrições (Equações (5) e (6)) alteram o conjunto de soluções (i) reduzindo a quantidade de portfólios disponíveis e (ii) reduzindo a fronteira eficiente (soluções de menor *retorno* e menor *risco*), confirmando a teoria de Markowitz [20].

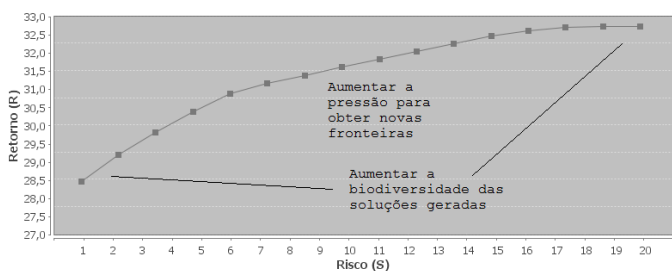


Figure 8. Fronteira eficiente gerada pela OMO utilizando o NSGA-II.

A Fig. 8 mostra dois objetivos adjacentes da busca heurística (i) procurar por *novas fronteiras* e (ii) aumentar a *biodiversidade* das soluções visando obter um número maior de alternativas disponíveis para uma etapa pós-otimização [5].

Com um conjunto de soluções ótimas, pode-se escolher uma dentre elas. Esta etapa é importante, pois pode-se utilizar do conhecimento tácito, experiência e intuição de especialistas [11, 12]. Para o experimento, utilizaram-se os critérios da Tab. 3, com 7 pessoas (entre diretores gerentes funcionais e de projeto) sendo a comparação pareada obtida pelo método *Delphi*. Este método foi utilizado para evitar um problema de decisões em grupo chamado de *angoragem* [11, 12], onde os demais participantes tendem a seguir o raciocínio da pessoa mais influente e/ou com mais poder.

O resultado final de experimento com dados reais foi a seleção de um *portfólio* contido no conjunto ótimo de Pareto, com uma tendência de maior retorno/risco e sendo aceito, pelos envolvidos, como o melhor portfólio de projetos.

VI. CONCLUSÕES & TRABALHOS FUTUROS

Os modelos e algoritmos [5] discutidos aqui tiveram como objetivo trazer uma *abordagem* para a tomada de decisões organizacionais e dar uma nova dimensão aos modelos de otimização de portfólio de projetos. Esta abordagem tem melhores resultados quando existem várias restrições a serem satisfeitas e/ou o problema é grande para ser resolvido de forma determinística ou polinomial (*NP-hard*) [21].

É importante ressaltar que a *seleção* de um portfólio de projetos pressupõe um *entendimento mais amplo e complexo* do que o uso isolado de um método específico [11, 12, 22]. Ela pressupõe que a decisão sobre um portfólio é fruto de negociação, de aspectos humanos e de análise estratégica. A abordagem deste trabalho favorece e orienta a tomada de decisão, mas não deve ser utilizada como único método.

Dentre as contribuições da abordagem podem-se citar: (i) uma solução para a *análise combinatória* 2^n e (ii) a estruturação de uma *hierarquia de critérios* originados de aspectos subjetivos que permitem a seleção de um único portfólio.

Em trabalhos futuros, pode-se explorar um conjunto maior de restrições e outras funções a serem otimizadas, como por exemplo, minimizar o custos dos portfólios gerados, transformando o PSPP de 2, para 3 ou N objetivos. Pode-se adicionar novas fontes de dados, como estruturas de apoio à decisão conhecidas como *Master Data Management* (MDM). Estas estruturas tem o objetivo de aumentar a qualidade dos dados utilizados em processos decisórios [22], aumentando assim a efetividade da(s) solução(ões) obtida(s).

REFERENCES

- [1] PMI (2013). The Standard for Portfolio Management / Project Management Institute. — 3rd ed. Project Management Institute, Inc.
- [2] Killen, C. (2007). Managing the new product development project portfolio: a review of the literature and empirical evidence. *Management of Engineering and Technology*, pages 5–9.
- [3] Levine, H. A. (2007). *Project Portfolio Management: A practical guide to selecting projects, managing portfolios and maximizing benefits*. Jossey-Bass, San Francisco, 1st edition.

- [4] Carlos A. Coello Coello, Gary B. Lamont, and David A. Van Veldhuizen, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems* (Genetic and Evolutionary Computation) Second Edition - Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA ©2006.
- [5] Deb, K., & Pratap, A. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197.
- [6] Saaty, T. L (1980), *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill International.
- [7] Saaty, T. L. (2005), *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. Pittsburgh: RWS Publications.
- [8] Iamratanakul, S. (2008). Project portfolio selection: From past to present. *Management of Innovation and Technology*, 287–292.
- [9] Metaxiotis, K., & Liagkouras, K. (2012). Multiobjective Evolutionary Algorithms for Portfolio Management: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, 39(14), 11685–11698. doi:10.1016/j.eswa.2012.04.053.
- [10] Wang, Z., & Yu, Y. (2011). Information entropy method for project portfolio selection. 2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2618–2622.
- [11] Gomedede, E., Barros, R. M. (2012) “Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso.” In: VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, São Paulo, p. 408-419, 2012.
- [12] Gomedede, E., Proença JR., M. L. and Barros, R. M. (2012) “Networks Baselines And Analytic Hierarchy Process: An Approach To Strategic Decisions.” In: IADIS International Conference Applied Computing, p. 34-41, 2012.
- [13] Barros, M., & Costa, H. (2012). Multiobjective optimization for project portfolio selection. *GECCO Companion '12 Proceedings of the Fourteenth International Conference on Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, 1541.
- [14] Danmei, Z., & Tie, Z. (2008). A novel R&D project portfolio selection decision approach based on fuzzy logic and heuristics scheduling. *Control and Decision Conference*, 2008. CCDC 2008. Chinese, 144–147.
- [15] Danmei, Z., Xingtong, W., & Rongrong, R. (2010). A Heuristics R and D Projects Portfolio Selection Decision System Based on Data Mining and Fuzzy Logic. 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 118–121.
- [16] Kremmel, T., Kubalik, J., & Biffl, S. (2010). Multiobjective evolutionary algorithm for software project portfolio optimization. *Proceedings of the 12th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*.
- [17] Lourenço, J., Morton, A., & Costa, C. B. e. (2012). PROBE—A multicriteria decision support system for portfolio robustness evaluation. *Decision Support Systems*, 4668.
- [18] Mira, C., Feijao, P., & Souza, M. (2013). A project portfolio selection decision support system. 10th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), 725 – 730.
- [19] Mira, C., Feijao, P., Souza, M. A., Moura, A., Meidanis, J., Lima, G., ... Freitas, I. T. (2012). A GRASP-based Heuristic for the Project Portfolio Selection Problem. 2012 IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering, 36–41.
- [20] Markowitz, H., 1952. Portfolio selection. *Journal of Finance* 7, 77–91.
- [21] Abbassi, M., Ashrafi, M., & Sharifi Tashnizi, E. (2014). Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology. *Technovation*, 34(1), 54–63.
- [22] Gomedede, E. ; Barros, R. M . Master Data Management e Data Warehouse - Uma Abordagem Arquitetural para a Melhoria do Processo de Decisão. In: 8ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação - CISTI'2013, 2013, Lisboa. 8ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação - CISTI'2013, 2013.